

水田における窒素の挙動と水稻の生育・窒素吸収

著者	安藤 豊
号	277
発行年	1984
URL	http://hdl.handle.net/10097/16908

論文内容要旨

I 序 論

本研究は、第1に水田土壌中での窒素挙動および水稻の窒素吸収とそれに開与する要因を窒素の由来別（施用窒素、地力窒素）に検討し、その相互関係を明らかにする事を目的とし、第2に由来別窒素の水稻生育に果す役割を、定量的に圃場において把握する事を目的に行なったものである。

重窒素トレーサー法は最近著しい進歩をとげ、上記の研究のためにきわめて有効な手段となっている。しかしながら、圃場レベルで上記の問題とくに、窒素の水稻生育に果す役割を検討した例はほとんどみられないか、いまだ不十分な現状である。本研究は、主に圃場で重窒素トレーサー法を使用して行なったものである。

II 水田土壌中における基肥・追肥・地力由来窒素の挙動

宮城県内、福島県内の現地圃場において、基肥・追肥・地力由来の窒素の挙動を、それに関与する要因から検討した。さらに、地力窒素の無機化過程を培養実験により明らかにした。

稲作期間は、土壌アンモニアレベルから、最高分げつ期までと、その後の期間に分けられる。そのため、水田土壌中での窒素の挙動について、稲作期間を生育初期と中・後期に分けて検討を行なった。

1. 水稻の生育初期段階

土壌中の全アンモニア態窒素（以下土壌アンモニアとする）は、土壌の種類にかかわらず、移植後やや減少し、その後停滞、そして6月中旬から急激な減少、きわめて低いアンモニアレベルで経過の4つの段階に分けられた（図1）。これを積算有効温度示数の関係でみると、積算有効温度示数の増加とともに土壌アンモニアは指数的に減少した（図2）。

この土壌アンモニアの挙動に対して、土壌の種類、有機物施用、基肥レベルがどのように関与しているかを検討した。土壌アンモニアの挙動に与える土壌の種類の影響は、土壌毎の地力窒素の無機化量とともに、水稻の生育阻害物質による水稻の窒素吸収能の低下が主な原因であった。すなわち、地力窒素の無機化量の少ない土壌では、移植後の土壌アンモニアの減少が顕著であり、土壌アンモニア中の基肥由来アンモニアの占める割合が高かった。また、水稻の生育阻害物質（2価鉄や有機酸）が多い土壌では、土壌アンモニアが急速に減少する時期が遅く、土壌アンモニアの消失時期が遅かった。

有機物施用、とくに稲わら施用は、土壌アンモニアの挙動にほとんど影響を与えなかった（図3）。また、土壌アンモニア中に占める基肥由来アンモニアの割合は、有機物施用に無関係であった（表1）。施用した稲わらの分解はごく初期からみられ、施用稲わらの構成窒素も、生育初期から活発に分解放出された。

基肥窒素施用量の違いは、初期の土壌アンモニア量の差を生ずるが、土壌アンモニアの消失時

期は、基肥量とは無関係に一定で6月下旬頃であった(図4)。また基肥窒素量の多少は、地力窒素の無機化に影響を与えなかった。

水田作土層での収穫期の基肥窒素の残存は、堆肥施用区で29～35%であり、稲わら区のそれは4～10%高かった。下層土での基肥窒素の残存率は土壌の種類によって異なり、透水性の良好なCECの低い圃場で多くなった。

2. 生育中期段階

追肥窒素の挙動は、水稻生育中・後期の稲にとってきわめて重要である。追肥窒素は、田面水中から急速に作土層に移行する。田面水中の追肥由来アンモニアは、追肥後2日で追肥量の10%程度となり、作土層の追肥由来アンモニアは追肥後2日までは急速に増加し、その後減少し、追肥後7～11日で消失した。土壌によって固定される追肥窒素は、追肥後4～5日で追肥量の20%となりその後一定となった(図5)。

3. 地力窒素の無機化と施用窒素の有機化(培養実験)

地力窒素の無機化と18℃変換日数の関係をみると、地力窒素の無機化は、分解の速い反応と、分解の遅い反応の2つの成分の合成として示される(図6)。分解の比較的速い部分の分解が終了するのは、圃場で土壌アンモニアの消失する時期とほぼ一致した。施用窒素の固定は、無地力窒素の無機化と比較して低温でも活発に起きる事が明らかとなった。

Ⅲ 水稻による施肥及び地力窒素の吸収と生育

宮城県内、福島県内の現地水田を使用して、水稻による施肥および地力窒素の吸収と、土壌の種類、基肥窒素施用量、有機物施用の関係を検討した。また、土壌アンモニアの挙動と水稻生育の関係および、由来別窒素の水稻生育に果す役割を明らかにした。

1. 水稻による施肥及び地力窒素の吸収

水稻の全窒素吸収量と積算有効温度示数の関係は、いずれの圃場でも指数式と直線式で示された(図7)。そして、指数式で示される時期は、土壌アンモニアが充分にある時期であり、その期間に基肥窒素の吸収は終了する。基肥窒素の利用率は20～40%であった。

基肥窒素施用量の多少により、基肥窒素の吸収速度は異なるが地力窒素の吸収速度はかわらない。有機物を施用すると排水不良な圃場では、窒素吸収速度は低下するが、排水良好な圃場では同じであった。この有機物施用による窒素吸収速度の低下は生育阻害物によるものとみられた。また、生育中・後期に稲わらから放出される窒素は、地力窒素のターンオーバーによるものである。

2. 水田土壌中での窒素の挙動と茎数の推移ならびに窒素吸収の関係

宮城県内、福島県内の現地圃場で茎数の推移と土壌アンモニアの挙動の関係を検討した。その結果、いずれの圃場でも土壌アンモニアの消失する時期と、最高分げつ期は一致した。また、水稻の1日当り、1g乾物当りの窒素集積量が1mgより低下すると水稻は最高分げつ期となった(表2)。

水稻の生育中期の地力窒素の吸収量と18℃変換日数による地力窒素の放出量とは高い正の相関があった(図8)。このことは、水稻の生育中期の地力窒素の吸収量は、生育初期及び中期の温度に支配されることを示すものである。

3. 水稻による追肥窒素の吸収と土壌中での追肥窒素の挙動

水稻による追肥窒素の吸収経過と土壌アンモニアの挙動を検討した。追肥窒素の挙動は、その挙動に関与する要因から3つの段階にわけられた(図9)。第1段階は、追肥窒素が田面水から作土層に移行し、脱窒、揮散、土壌による固定がみられる段階である。第2段階は第1段階の要因に加えて、水稻による追肥窒素の吸収がみられる。第3段階は、水稻による追肥窒素の吸収だけがみられる段階である。なお、水稻による追肥窒素の利用率は約50%であった。

4. 土壌アンモニア及び水稻の窒素吸収の変異

土壌中の全アンモニア、基肥由来、地力由来アンモニアの変異について検討した所、変異係数は20~70%と大きかった(表3)。この変異は、施用ムラによるものであり、代かきにより容易に泥状化しやすい有機物含量の高い圃場では変異が小さい傾向があった。

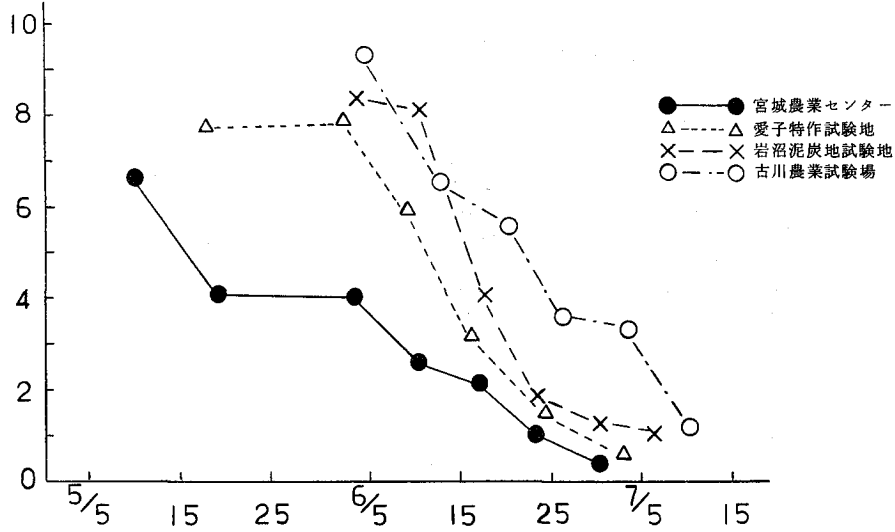
水稻の基肥窒素吸収量の変異は、土壌アンモニアの変異より小さいが、地力窒素吸収量および全窒素吸収量の変異より大きかった。

5. 基肥および地力窒素の水稻生育に果たす役割

土壌中にアンモニアが十分に存在する時期には、地力窒素ないし基肥窒素は、乾物生産に対して、同等の役割を果たしていた。このことは、水稻の全窒素吸収量中の基肥窒素と地力窒素の比率で、水稻の乾物生産に貢献している事を示すものである。水稻の全窒素吸収量中の基肥窒素と地力窒素の比率と土壌アンモニア中のそれとの間には高い相関が認められた。

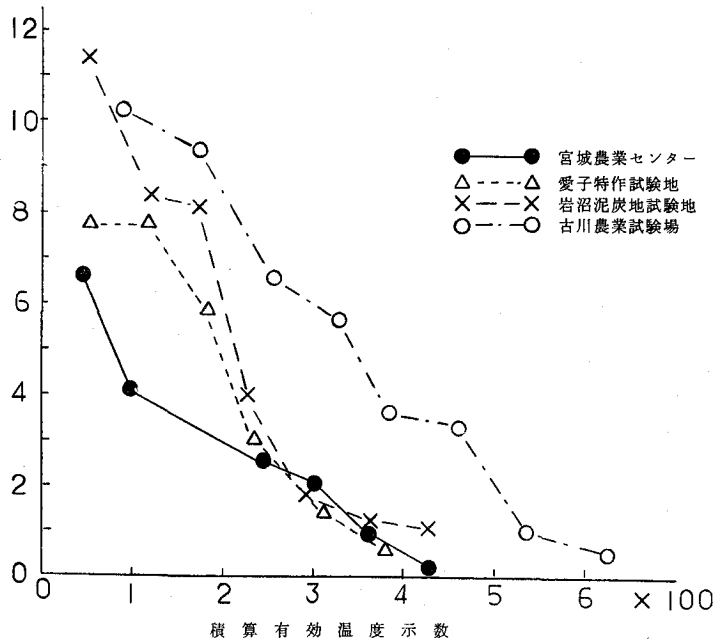
土壌中のアンモニアが消失した後に形成された新葉身中の転流窒素量(地力+基肥)を推定した(図10)。転流窒素の内訳は、多肥区程、基肥に由来する窒素が多かった。また、新葉身の形成期間中に吸収した窒素量は、水稻の生育量とは無関係に一定であった。転流窒素量と新葉身の乾物重との間には高い相関が認められた(図11)。この事は、水稻の生育中期の生育制御には、初期の窒素吸収量をも考慮しなければならないことを示すものである。

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$
mg/100g soil



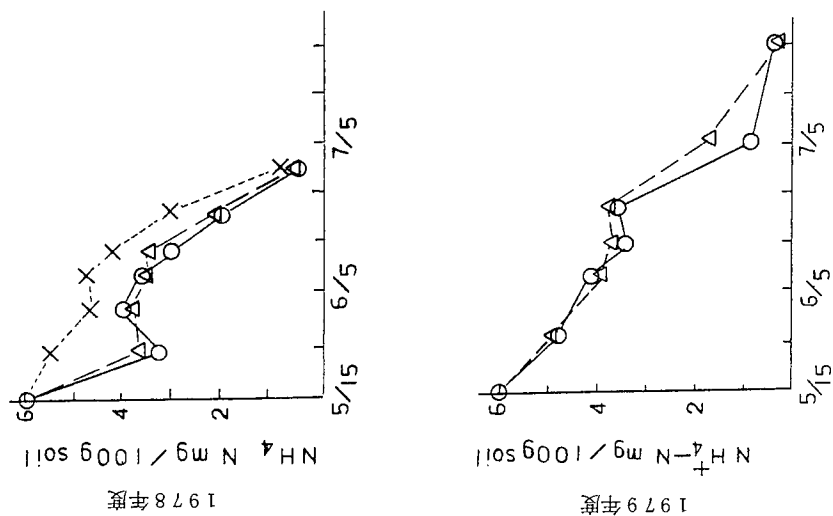
第1図 土壌統群の異なる圃場での土壌アンモニアの挙動

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$
mg/100g soil

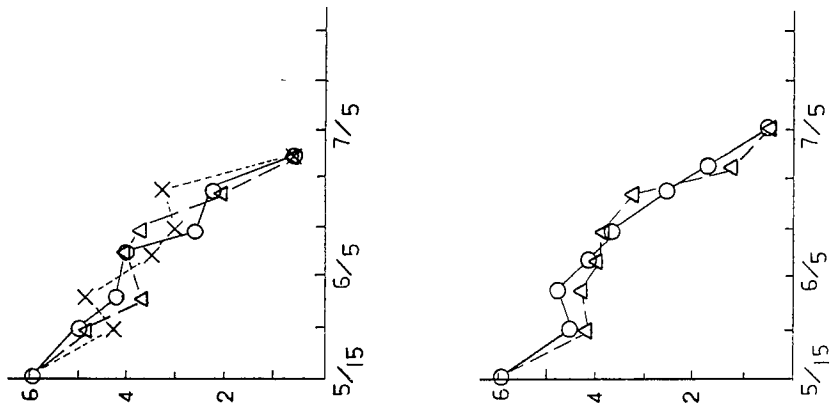


第2図 土壌アンモニアの挙動と積算有効温度示数

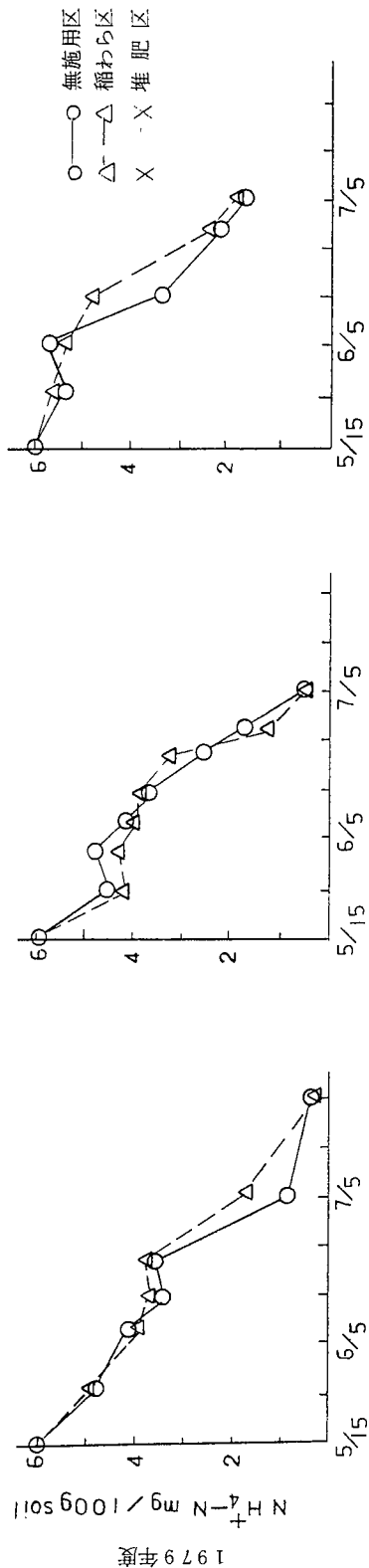
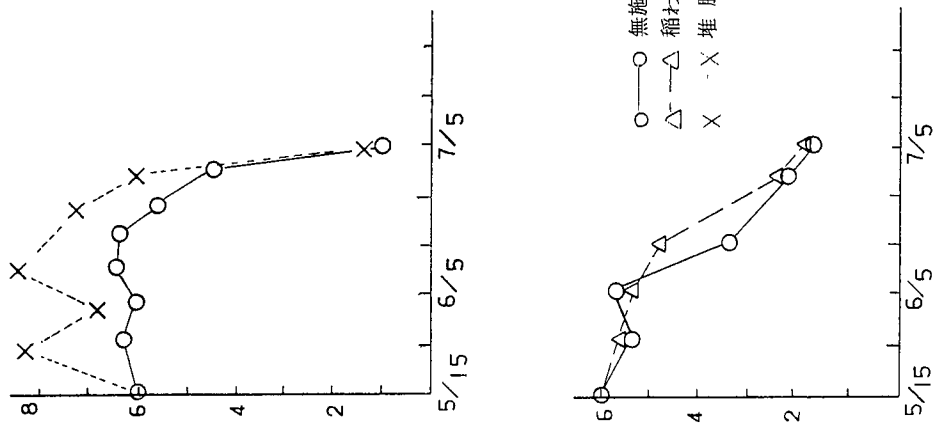
福島農試本場



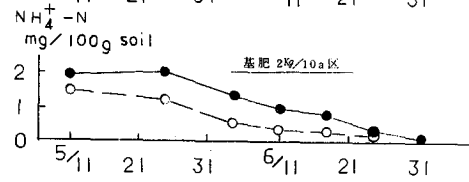
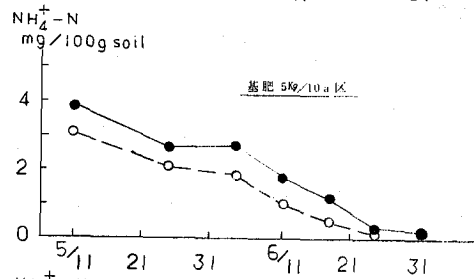
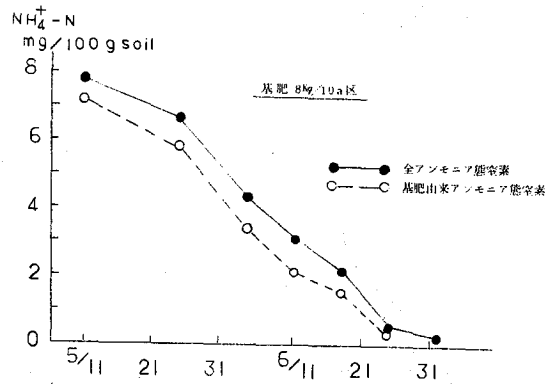
福島農試相馬支場



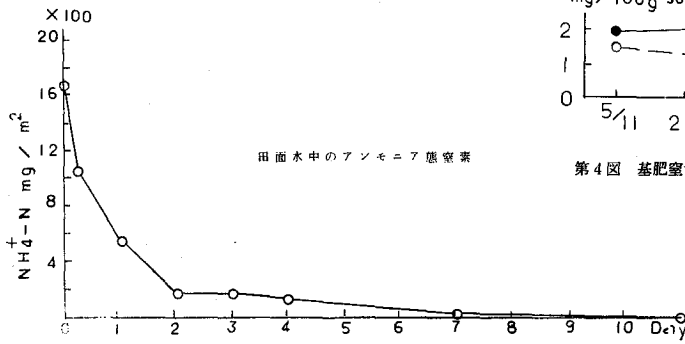
福島農試会津支場



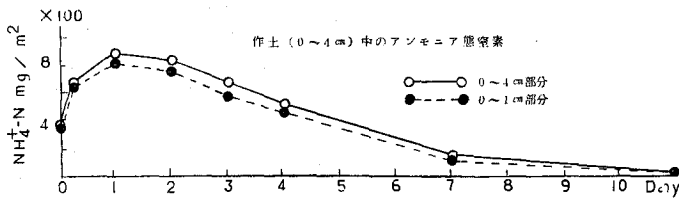
第3図 有機物施用に伴う土壌アンモニアの推移



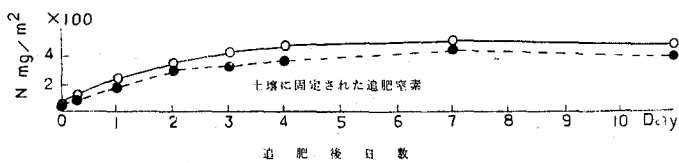
第4図 基肥窒素量の違いによるアンモニア態窒素の推移



田面水中のアンモニア態窒素

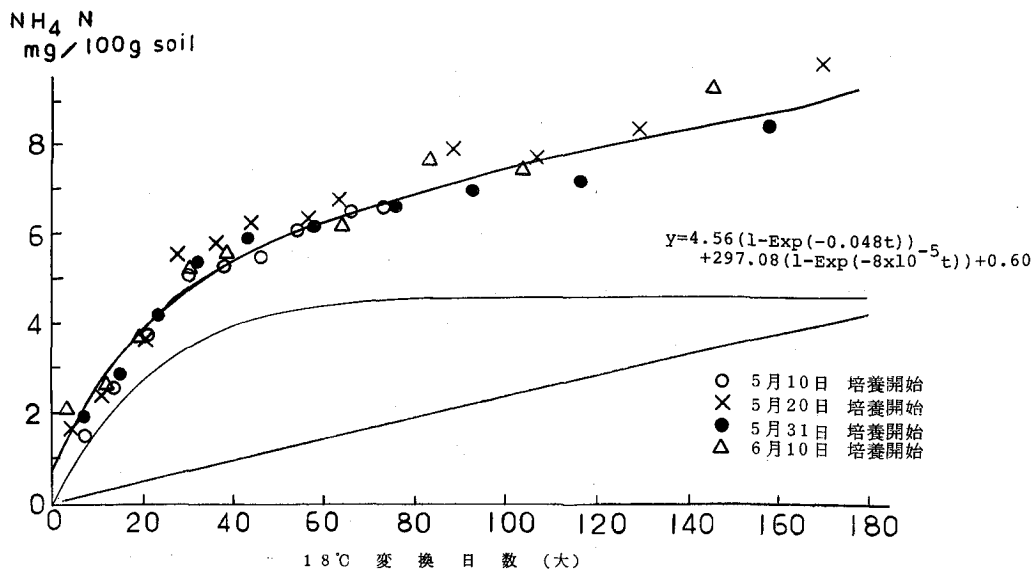


作土 (0~4 cm) 中のアンモニア態窒素



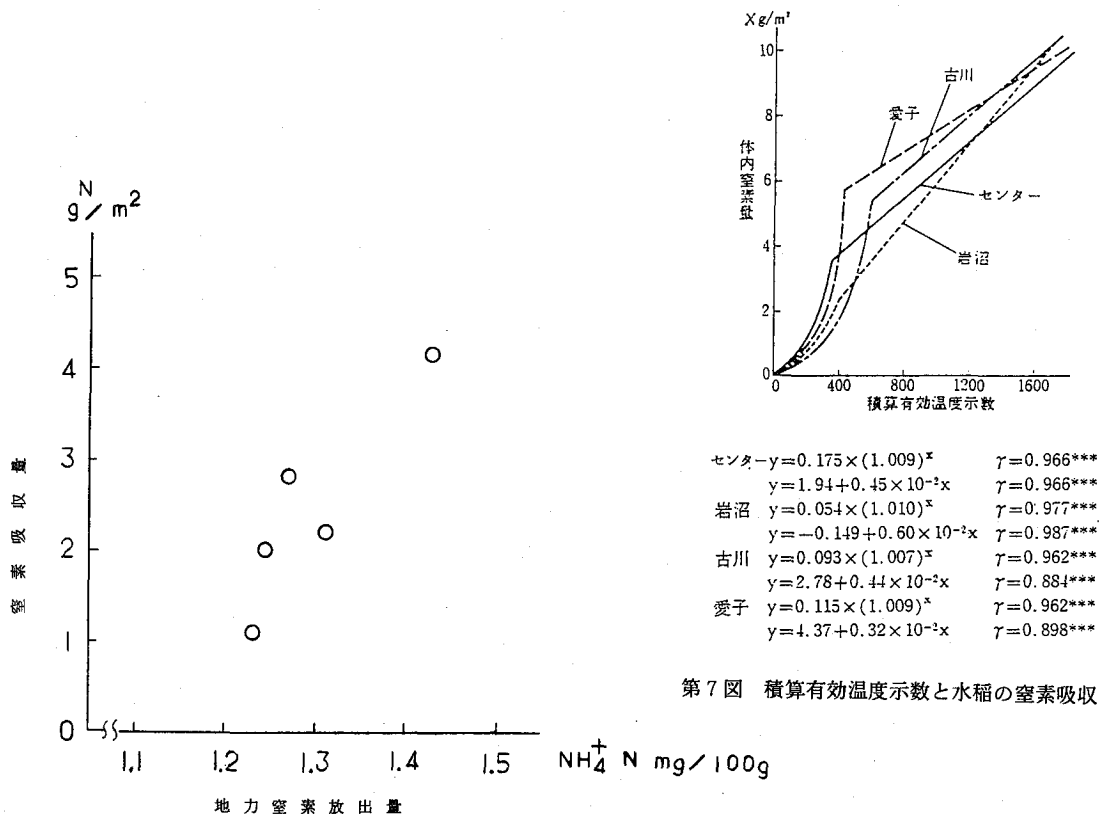
土壌に固定された追肥窒素

第5図 追肥窒素の挙動



第6図 地力窒素無機化量と18℃変換日数の関係

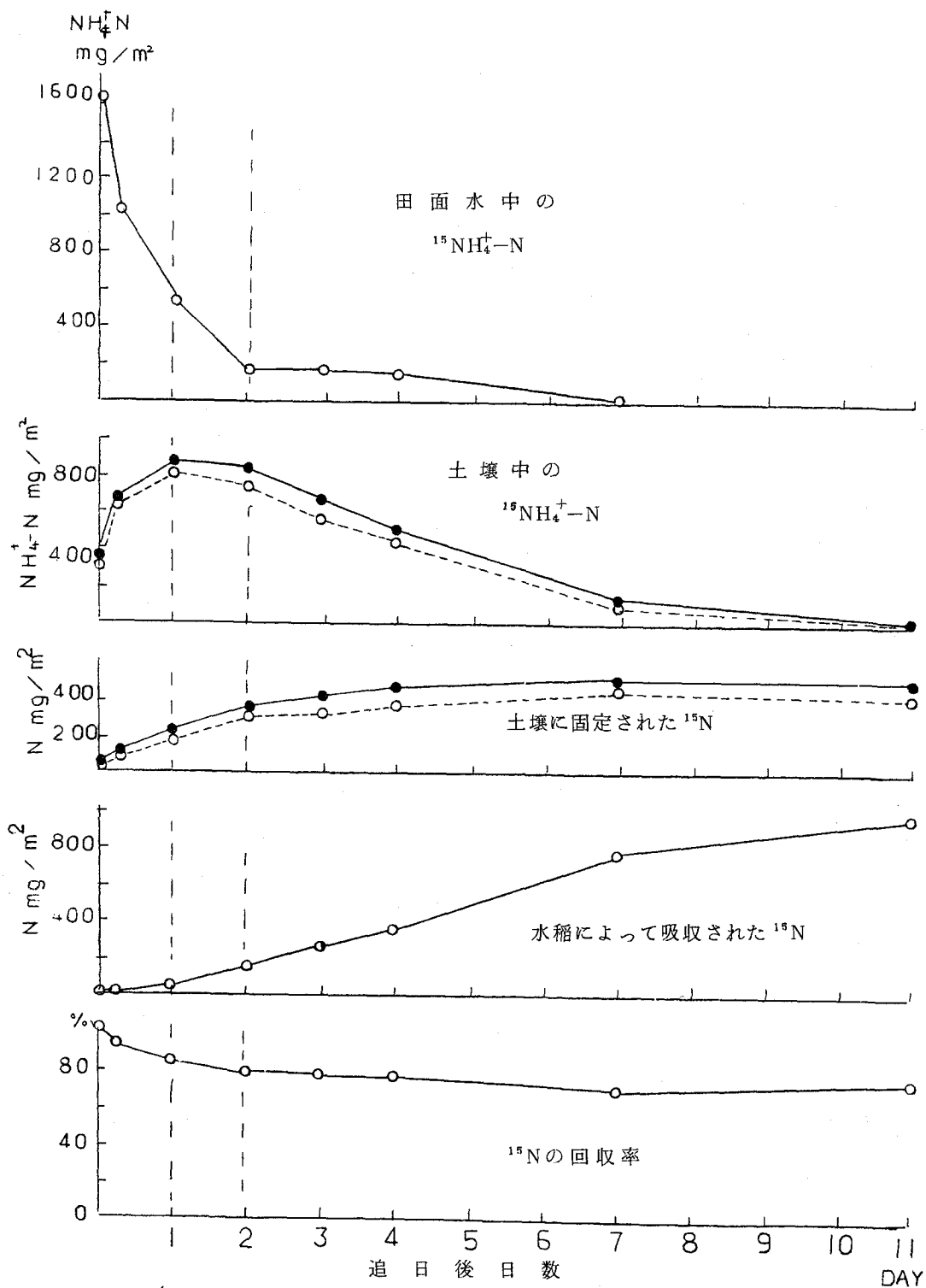
(宮城農業センター風乾土壌, 活性化エネルギー: 30000)



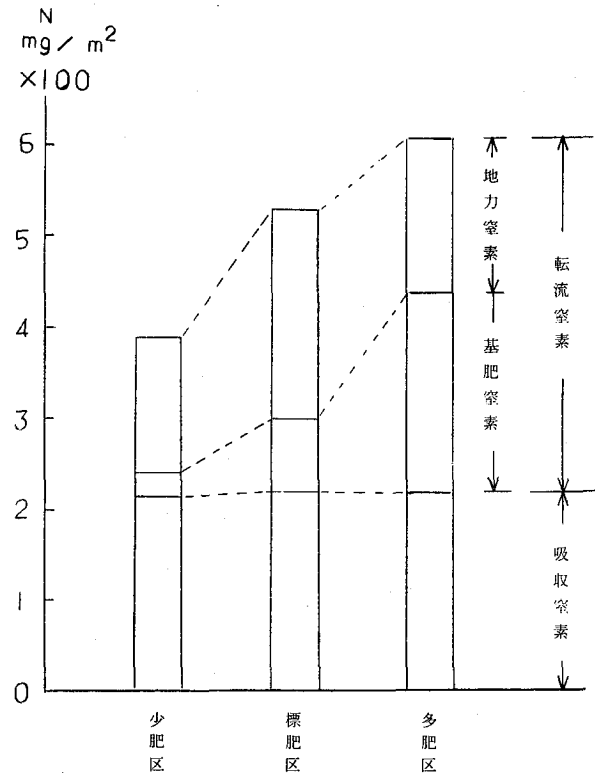
第7図 積算有効温度示数と水稻の窒素吸収

第8図 地力窒素放出量と水稻による窒素吸収量

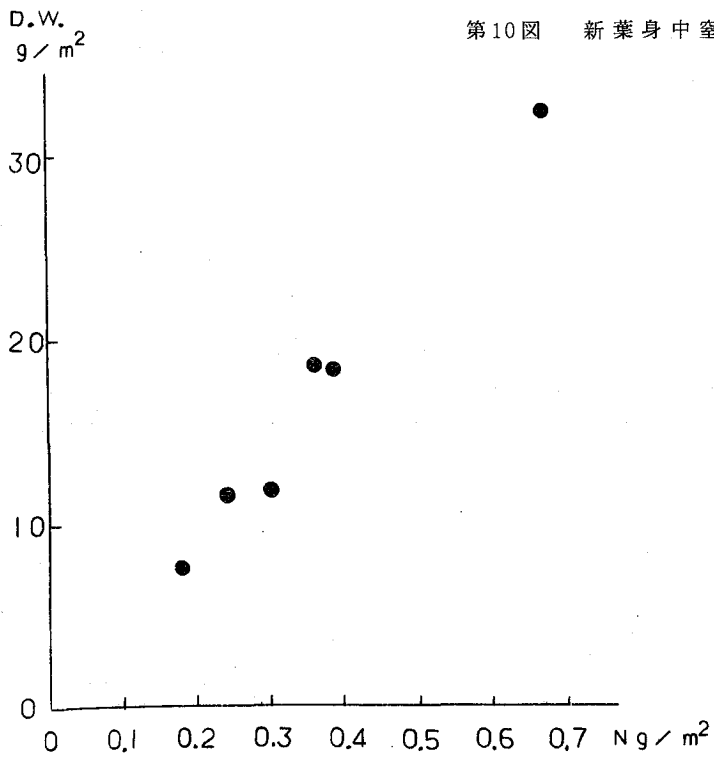
(宮城農業センター)



第9図 追肥窒素の挙動



第10図 新葉身中窒素の由来 (止め葉)



第11図 生育中期における新葉身乾物重と転流窒素の関係

第1表 土壌アンモニア中の基肥由来アンモニアの占める割合(%)

試験区	福島農試本場		相馬支場		会津支場	
	1978					
	6 / 2	6 / 14	6 / 9	6 / 22		
無施用区	60.9	35.4	40.6	20.0		
稲わら区	62.8	41.2	29.6	22.6		
堆肥区	58.0	44.5	43.9	22.6		
	1979					
	6 / 5	6 / 15	6 / 5	6 / 15	6 / 5	6 / 15
無施用区	46.1	23.2	40.2	32.7	49.6	38.1
稲わら区	52.3	24.1	35.1	N. D. #	54.6	37.7

#: 測定せず

第2表 最高分げつ期, 土壌アンモニア消失時, 最高分げつ期の窒素含量, 窒素集積量が1mg/D.W./日以下になる時の関係

圃場	最高分 げつ期	土壌アンモ ニア消失時	窒素含量	窒素集積速度が 1mg/D.W./日 以下になる時
福島農試本場	6/30	6/29	2.53 %	6/30
相馬支場	7/5	6/30	1.69	6/30
会津支場	7/4	7/4	-	-
宮城農業センター	6/22	6/22	2.20	6/22
岩沼	6/29	6/29	1.73	6/29
古川	7/10	7/14	2.21	7/8
愛子	7/9	7/9	2.86	7/9

第3表 土壌中の全アンモニア, 基肥由来, 地力由来アンモニアの変異(移植期)

		全NH ₄ ⁺ -N量 (a) mg/100 g		基肥由来NH ₄ ⁺ -N量(b) mg/100 g		地方由来NH ₄ ⁺ -N量 mg/100 g		b/a × 100 %	
		セ　ン　タ　ー　圃　場							
		T - 1	T - 2	T - 1	T - 2	T - 1	T - 2	T - 1	T - 2
平　均		4.90	6.48	4.67	6.37	0.22	0.10	95.1	98.6
最　大		10.51	20.52	10.51	20.52	0.41	0.33	100.0	100.0
最　小		2.86	1.26	2.53	1.10	0.00	0.00	85.9	87.1
変異係数*		34.7	66.9	38.9	68.7	63.9	102.0	5.0	5.3
		岩　沼　圃　場							
		P - 1	P - 2	P - 1	P - 2	P - 1	P - 2	P - 1	P - 2
平　均		8.51	8.70	6.86	6.70	1.32	1.70	83.5	79.2
最　大		10.94	12.27	8.95	10.67	1.70	2.91	97.8	87.1
最　小		6.33	5.43	4.82	3.63	0.19	1.05	76.1	66.8
変異係数*		29.1	21.6	20.3	24.3	27.6	23.3	6.1	7.3

* 変異係数は%

審 査 結 果 の 要 旨

本論文は、重窒素トレーサーをもちいて、圃場における水田土壌中の窒素の挙動と水稻の窒素吸収・生育の関係を総合的に研究した成果をとりまとめたものである。

まず圃場における培養実験から、水田土壌の地力窒素の無機化および施用窒素の固定と温度との関係は、アレニウスの式に、時間との関係はミハイルーメンテンの式に適合し、速度論的に説明可能となった。また無機化および固定の両過程は、反応の速い部分と遅い部分の2つの成分が同時に進行することが確認された。

次に水田土壌中のアンモニアは、6月下旬ないし7月上旬にほぼ消失し、水稻の最高分げつ期と一致することが明らかとなった。この時期は、地力窒素のうち易分解性部分（反応の速い部分）の分解が終了する時期と一致した。したがって最高分げつ期は、水稻の生育ステージによるのではなく、土壌からの水稻の窒素供給条件によることが明らかとなった。また水田土壌中のアンモニアの挙動は、有機物の施用によって、大きな影響を受けず、排水不良水田における有機物施用による水稻生育の抑制は、有害物質の集積によることが明らかとなった。

水稻の初期の生育は、基肥窒素に大きく依存しているが、地力窒素と施肥窒素は、単位重量当でみると生育に対して同等の貢献をしていることが確認された。また基肥窒素の吸収は、生育初期に終了するが、中期の器官形成に対しても、転流によって大きく貢献することが明らかにされた。さらに中期の地力窒素の吸収は、中期の気象条件のみならず、初期の気象条件にも大きく左右されることが分った。

以上のように、著者はいくつかの新知見を提出し、土壌肥料学に貢献するとともに、水稻栽培上有益な成果を示した。よって著者は、農学博士の学位を授与される資格があるものと判定した。